

50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau
von Makro bis Nano /
Mechanical Engineering
from Macro to Nano**

Proceedings

Fakultät für Maschinenbau /
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten
Andrea Schneider
- Fakultät für Maschinenbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz,
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß,
Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges,
Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer,
Dipl.-Ing. Silke Stauche
- Redaktionsschluss: 31. August 2005
(CD-Rom-Ausgabe)
- Technische Realisierung: Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau
(CD-Rom-Ausgabe) Dipl.-Ing. Christian Weigel
Dipl.-Ing. Helge Drumm
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
- Technische Realisierung: Universitätsbibliothek Ilmenau
(Online-Ausgabe) [ilmedia](#)
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau
- Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.
Werner-von-Siemens-Str. 16
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe): 3-932633-98-9 (978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-932633-99-7 (978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

K. Meyer

Das Phänomen der Reifezeit beim Konstruieren

Einleitung

Als Ingenieur, der sich fast sein ganzes Berufsleben lang sowohl in ausführender als auch in leitender Position mit Produktentwicklung beschäftigt hat, erlaube ich mir den Luxus, die Konstruktionslehre als das Werkzeug zu sehen, was mir die Arbeit erleichtern soll. Ich sehe mich damit als ein Hauptkunde der Konstruktionswissenschaft.

Mit diesem Blickwinkel stelle ich erstaunt und provokativ fest, daß die Konstruktionswissenschaft sich mit sehr vielen theoretischen Fragen und Erkenntnissen befaßt, die fast nur noch für die Konstruktionswissenschaftler selbst Interesse haben, weil diese oft unverständlich und damit unzugänglich sind für den „Kunden“, den Produktentwickler und Konstrukteur. Da erstaunt es, daß einer der allerwichtigsten Einflußfaktoren auf dem Weg zur überragenden Entwicklungsleistung, nämlich das Phänomen der Reifezeit, kaum in Vorträgen und Literatur behandelt zu sein scheint.

Mein Vortrag ist keine wissenschaftliche Abhandlung, sondern soll aus der Erfahrung eines „Kunden“ den Appetit bei Konstruktionswissenschaftlern wecken, doch mal dieses Thema aufzugreifen und in querschnittlicher Zusammenarbeit mit Neurologen, Gehirnforschern und Schlafforschern zu durchleuchten, um so Empfehlungen für die Verhaltensweise bei der Leitung und Durchführung von Produktentwicklung zu erarbeiten, die dann mit Sicherheit einen Quantensprung vorwärts in der praktischen Bedeutung der Konstruktionslehre bewirken werden.

Ich werde nun

- das Phänomen der Reifezeit mit Beispielen verdeutlichen,
- den Bereich, wo der Effekt der Reifezeit besonders zum Tragen kommt, ansprechen,
- aus der Gehirnforschung zitieren,
- meinen eigenen Reim aus meinen Beobachtungen und dem Gelesenen präsentieren und
- Verhaltensweisen andeuten, die nützlich sind, um bessere Resultate zu erbringen.

Beispiele zum Phänomen der Reifezeit

Das Vorhandensein dieses Phänomens kann z.B. mit folgenden Fragen aus dem täglichen Leben und aus der Arbeit mit Produktentwicklung verdeutlicht werden:

- Warum sagt man: Da muß ich erstmal drüber schlafen?
- Warum weiß man oft erst nach einem kritischen Gespräch, wie man am besten hätte argumentieren sollen?
- Warum kommen die guten Ideen plötzlich zu irgendeinem Zeitpunkt, aber nicht unbedingt, wenn man intensiv an der Aufgabe arbeitet?
- Warum findet man plötzlich für einen Konstruktionsentwurf ganz neue Beurteilungskriterien, die dann die bereits gewählte Lösung in Frage stellen?

- Warum kann man oft erst nach einer gewissen Zeit klar sehen, welche Lösung von mehreren unmittelbar gleichwertigen die bessere ist?
- Man sagt: „In mir ist die Entscheidung gereift, daß.....“
- Warum kommen gute Ideen für die Konstruktionsarbeit nicht selten, wenn man ein Konzert mit klassischer Musik hört?
- Warum kann ich oft mit Leichtigkeit die gute Lösung nach einer grösseren Arbeitspause wie z.B. einem Wochenende skizzieren, aber nicht vorrige Woche trotz intensiver Konzentration?
- Ein Industriedesigner erzählte mir mal, daß er manchmal mehrere Jahre braucht, um eine zufriedenstellende Formgebung zu finden. Warum machte er das nicht umgehend nach Erteilung der Aufgabe?

Wir können sicher alle die Relevanz dieser Fragen nachempfinden. Die Konstruktionswissenschaft erzählt uns jedoch – sehr vereinfacht ausgedrückt – daß wir nur eine Reihe von Dingen nacheinander oder gleichzeitig zu tun haben, um zielsicher das perfekte Schlußresultat der Produktentwicklung zu erreichen. Oder noch grober und vereinfachter ausgedrückt: Erst ein Brainstorming mit möglichst vielen Teilnehmern, dann eine Beurteilung der erstellten Ideen, Auswahl der besten Idee und schon sind wir fertig. Ich weiß, daß ich mit diesen Vereinfachungen etwas ungerecht bin.

Bedeutung der Reifezeit im Verlauf der Produktentwicklung

Im Verlauf von der Spezifikation der Aufgabe, der Konzeptentwicklung, Strukturierung und Festlegung der technischen Nahtstellen zwischen den Untereinheiten, Detailkonstruktion bis hin zur Produktionsanpassung haben wir eine zunehmende Vielfältigkeit der Lösungsmöglichkeiten, die dann wiederum ganz unterschiedliche Produkteigenschaften für z.B. die Bedienung und Robustheit des Produktes mit sich bringen und unterschiedliche Produktionskosten mit sich führen.

Das übergeordnete technische Konzept zu entwickeln kann häufig, sofern man technisch fundiertes Wissen und fundierte Erfahrung hat, mit Kurzbeschreibungen, Skizzen und eventuell Voruntersuchungen technischer Art gefunden und beschrieben werden. Die Detailarbeit jedoch erfordert maßstabgerechtes Konstruieren und das Suchen von Lösungen aus einer Fülle von Möglichkeiten, die nicht unmittelbar auf der Hand liegen und außerdem sehr gründlich gegeneinander abgewogen werden müssen. Bei dieser Detailarbeit werden auch Robustheit, Betriebssicherheit und Minimierung der Produktionskosten in das Produkt eingebaut. Robuste und betriebssichere Lösungen sind oft entscheidender für den wirtschaftlichen Erfolg eines neuen Produktes als das gute Konzept. Die Reifezeit ist ein wesentlicher Faktor zur Optimierung einer Konstruktion und hat ihre besondere Bedeutung gerade bei der Detailarbeit.

Das möchte ich mit einem extremen Beispiel untermauern:

Der Volkswagen „Käfer“ war ein elendes Konzept mit einem lärmenden, luftgekühlten Heckmotor mit für die dynamischen Fahreigenschaften verkehrter Gewichtsverteilung, ohne brauchbaren Kofferraum, zu kurzem Achsabstand, kleinem Innenraum und so unübersichtlich, daß er nach Gehör geparkt werden mußte. Diese Auto war über Jahrzehnte das zuverlässigste Auto in Europa und wurde in mehr als 20 Millionen Exemplaren verkauft. Volkswagen hat über 5 Jahrzehnte konstant an der weiteren Verbesserung der Zuverlässigkeit gearbeitet, war jedoch an das hoffnungslose Grundkonzept gebunden. Wenn es gelungen war, das Rückfenster noch einmal etwas grösser zu machen, wurde das mit Klebstreifen, die entsprechend der alten Fenstergrösse am neuen

Modell im Schaufenster angebracht waren, signalisiert. Sonst hätte man den Unterschied nicht erkennen können.

In unserer Familie haben wir über 20 Jahre lang Austin Maxi gefahren. Das genialste Konzept, was ich je erlebt habe und heute von fast allen Autofirmen übernommen. Quergestellter Motor mit Getriebe darunter verblockt, Forderradantrieb, riesiger Achsabstand, raumsparendes Federungssystem, der Innenraum grösser als der eines Ford Mondeo, grosser, in den Proportionen regulärer Kofferraum, der Innenraum umbaubar in eine Liegefläche für zwei Personen und insgesamt in der Länge kürzer als der Volkswagen Käfer. Aber: Ununterbrochen kaputt und zur Reparatur. Man stelle sich nur vor, dieses Fahrzeug wäre in Wolfsburg fertigkonstruiert und produziert worden. Das wäre Optimierung von Produktentwicklung gewesen.

Wenn man die Bedeutung eines technischen Konzeptes und die Ausführung der Details in Relation setzt zur Zufriedenheit des Kunden und damit zum Markterfolg eines Produktes, dann könnte das so aussehen:

Technisches Konzept schlecht gut schlecht gut

Ausführung der Details schlecht schlecht gut gut

Zufriedenheit des Kunden Brieftaube gering hoch Fan Klub

Erst die Detailausführung entscheidet, ob wir ein überragendes Resultat mit dem neuen Produkt erreicht haben! Die oft hohe Zufriedenheit des Kunden mit Produkten schlechter Konzepte, aber guter Detailausführung kann wohl mit der schon bei der Kaufentscheidung nach außen hin leichten Erkennbarkeit des Produktkonzeptes erklärt werden. Das Konzept ist akzeptiert beim Kauf, aber ob die Farbe bald abblättert oder hält, oder ob der Motor bald kaputt geht oder nicht, ist vorher schwer erkennbar.

Es stimmt ja nachdenklich, daß die gesamte, richtig englische Autoindustrie „British Leyland“ mit Chefkonstrukteur Issigonis' genialen Fahrzeugkonzepten (Monaco, Marina, Mascot und Maxi) nicht mehr existiert, nur weil die Details nicht in Ordnung waren, wogegen der Volkswagen Käfer mit dem hoffnungslosen Grundkonzept über viele Jahrzehnte lief und lief und lief.

Hintergrund der Reifezeit

Obwohl bei der Behandlung komplexer Problemstellungen das menschliche Gehirn nach wie vor jedem Computer in Arbeitsgeschwindigkeit überlegen ist und obwohl wir für die Lösungsfindung während der „Reifezeit“ keine weiteren Informationen von aussen weder erhalten noch benötigen, haben wir trotzdem das Phänomen der Reifezeit. Wie kann das sein?

Es muß doch wohl so sein, daß da etwas unterhalb des Bewußtseins im menschlichen Gehirn vor sich geht, wovon wir das Resultat dann irgendwann zu einem späteren Zeitpunkt erfahren.

Ich möchte hier einzelne Aussagen aus des dänischen Wissenschaftsjournalisten Tor Nørretranders Buch „Maerk Verden“ - zu übersetzen etwa mit „Fühle/empfinde die Welt“ - zitieren:

- Das Gehirn empfängt eine große Menge Information mit hoher Bandbreite und hat die Fähigkeit, selbst noch viel mehr Information umzusetzen, als es empfängt. Das Bewußtsein bekommt jedoch wenig davon zu wissen, was sich da tut.
- Über das meiste von dem, was wir erleben, können wir uns niemals etwas einander erzählen.

Wir erleben Millionen von bits pro Sekunde, können aber nur über einige zwanzig pro Sekunde berichten.

- Der dänische Psychologe Harald Hoeffding wird für folgendes zitiert: Eine Tätigkeit, die eigentlich im Bewußtsein verlaufen soll, kann, wenn das Bewußtsein gleichzeitig mit etwas anderem beschäftigt ist, unterhalb der Bewußtseinsgrenze verlaufen.
- Das Verhältnis zwischen dem was wir Menschen empfinden und dem was wir bewußt erleben, ist mehr als 1.000.000 : 1. Die Bandbreite des Bewußtseins ist sehr klein.
- Der deutsche Physiolog Hermann von Helmholtz wird für folgendes zitiert: „Das Bewußtsein ist notwendigerweise ein Resultat von unbewußten Prozessen, ob man das will oder nicht.“
- Eine Gruppe deutscher Forscher hat 1989 herausgefunden, daß Nervenzellen bei Katzen im Takt schwingen, wenn diese Nervenzellen dasselbe Objekt sehen. Diese Schwingungen geschehen 40 mal pro Sekunde und drücken wahrscheinlich aus, daß die Zellen sich einig sind, dasselbe Objekt zu sehen.
- In einem gegebenen Augenblick wird das Gehirn eine große Anzahl Muster umfassen, die im Takt schwingen. Ganz wenige dieser Muster werden jemals so weit verstärkt werden, daß sie auch nur für einen Augenblick die dominierende 40 Hz Schwingung werden. Alle diese Schwingungen werden darum niemals zum Gegenstand von Bewußtsein werden.

Hier noch einige Zitate aus dem Artikel „Das Gehirn schläft nie“ in der dänischen Zeitschrift „Illustrierte Wissenschaft“:

- Es hat sich gezeigt, daß das Gehirn weiterarbeitet, wenn der Körper in Schlaf fällt.
- Die Eindrücke und neuen Informationen des Tages werden bearbeitet und strukturiert. Dinge, die wir gelernt haben, setzen sich im Gedächtnis fest und darüberhinaus sieht es so aus, daß das Gehirn kreativ arbeiten und Probleme lösen kann, während wir schlafen.
- Vieles deutet darauf hin, daß das Gehirn Ruhe haben muß, um Reparaturen an den Nervenzellen durchführen zu können, weil Gehirntätigkeit Abfallstoffe hinterläßt, die beseitigt werden müssen. Das kann möglicherweise nur während des Schlafes geschehen.
- Im Laufe eines Tages verringert sich die Fähigkeit stark, eine bestimmte Aufgabe zu lösen. Hält man jedoch Mittagsruhe „boostet“ man seine Fähigkeit für Prästationen auf das gleiche Niveau, wie man es morgens hatte.
- Anscheinend kann das Gehirn nicht nur lernen und erinnern während wir schlafen, sondern sogar kreativ arbeiten. Deutsche Forscher unter Leitung von Jan Born an der Universität Lübeck haben gezeigt, daß die Hilfe, über ein Problem zu schlafen, wissenschaftlich untermauert ist.

Mit diesen Aussagen und Feststellungen haben wir eine Fülle von Anzeichen für Fähigkeiten unseres Gehirns, die weit über die unseres Bewußtseins hinausgehen. Diese Fähigkeiten sollten darum nutzbar gemacht werden im kreativen Produktentwicklungsprozeß.

Das Gehirn und Produktentwicklung

Mein eigenes „Credo“ aus dem bisher Vorgetragenen ist die zentrale Botschaft meines Vortrages:

- Die Gehirnkapazität unseres Unterbewußtseins ist mehr als eine Million mal größer als unser Bewußtsein, das wir normalerweise für die Produktentwicklung benutzen.
- Unser Unterbewußtsein kann im Takt schwingen, das heißt es kann konstruktiv arbeiten.
- Wir haben einen gewissen Einfluß darauf, womit sich unser Unterbewußtsein beschäftigt.
- Die Übertragung der Arbeitsergebnisse unseres Unterbewußtseins in unser Bewußtsein, so daß wir die richtigen Striche zu Papier bringen können, ist ein äußerst unsicherer Prozeß.
- Wenn wir unserem Gehirn Zeit geben und darüber schlafen, erhöht sich die Chance zu erfahren, zu welchen Resultaten unser Unterbewußtsein gekommen ist.
- Das Unterbewußtsein verbessert die Resultate des Bewußtseins.
- Es gibt sicher andere Methoden, als nur abzuwarten, um die Kommunikation zwischen Unterbewußtsein und Bewußtsein zu stimulieren, aber welche?

In welchem Umfang können wir Ingenieure in der Produktentwicklung uns eigentlich erlauben, abends, am Wochenende oder in den Ferien total abzukoppeln? Ich kann mir vorstellen, daß der Grad der gedanklichen Abkopplung vom Tageswerk Einfluß darauf hat, inwieweit auch das Unterbewußtsein abkoppelt oder weiterarbeitet. Oft empfinde ich z.B. erst in der dritten Ferienwoche, daß die Ferien begonnen haben. Abkoppeln des Unterbewußtseins braucht vielleicht auch Zeit?

Optimierung von Verhaltensweisen

Obwohl bisher viel vom Unterbewußtsein, daß ja per Definition unerreichbar ist, die Rede war, so sehe ich doch Möglichkeiten, durch die Optimierung von Verhaltensweisen an einiges von dem, was da geschieht, heranzukommen. Hier kann ich nur einige zufällige Beobachtungen, Erfahrungen und Empfehlungen nennen. Wie in der Einleitung gesagt, sollen dies nur Anregungen sein, um querschnittlich behandelte, mehr wissenschaftlich fundierte Verhaltensweisen zu erarbeiten.

Folgendes wäre bestimmt nützlich:

- Entwicklungsprojekte sollten nicht in einem vorher zu klein festgelegten Zeit- und Budgetrahmen durchgepeitscht werden, sondern sollten in Balance zwischen Einsatz und Resultatqualität geschehen.
- Die Detaillösungen können fast unendlich lange verbessert werden. Die Ideen dazu kommen „mit der Zeit“, also sind sie nicht gleich da. Industrieprodukte sind deshalb nie perfekt fertig. Industriefirmen sollten deshalb eine effektive Produktänderungsbereitschaft haben, um Produktverbesserungen einführen zu können.
- Bei der Planung eines Entwicklungsprojektes sollte man mit großer Sorgfalt die Formulierung aller wesentlichen Problemstellungen so früh wie möglich legen, anstatt das Projekt sequentiell abzuwickeln, Untereinheit nach Untereinheit.
- Man sollte Schubladenprojekte formulieren, d.h. Projekte die noch nicht aktuell sind, aber wahrscheinlich irgendwann zur Durchführung reif sind, um so früh die grauen Zellen der Ingenieure zu aktivieren.
- Wenn man einem Entwicklungsingenieur mehr als ein bis zwei Hauptaufgaben zur gleichzeitigen Lösung zuteilt, verwirrt man das Unterbewußtsein und das „Zusammenspiel“

mit dem Bewußtsein. Das endet dann in einem Durcheinander ohne gute Resultate.

- Die Detailarbeit erfordert mehr Reifezeit als die Konzeptarbeit, die Details sind jedoch später dran als das Konzept. Wenn das Konzept früh festliegt, soll man trotzdem nicht glauben, gut in der Zeit zu liegen.
- Die letzten Stunden vor grösseren Arbeitspausen wie Wochenenden, Feiertagen oder Ferien sollte man nicht benutzen, um Kleinkram zu erledigen oder aufzuräumen, sondern um sich wesentliche Problemstellungen vor einem liegender Aufgaben klar zu machen.
- Entwicklungsprojekte sollten kontinuierlich verlaufen, nicht mit ständigen Starts und Stops. Das Unterbewußtsein braucht Kontinuität.
- Vielleicht sollte man die in den südlichen Ländern übliche lange Mittagspause für Produktentwickler einführen.
- Schüler von Gymnasien mit Schwerpunkten auf Musik sind typisch auch tüchtig in Mathematik und naturwissenschaftlichen Fächern. Würde die freizeitliche Beschäftigung mit Musik vielleicht die Kreativität von Entwicklungsingenieuren fördern?

Zusammenfassung

- Gründliche Detailarbeit hat große Bedeutung für überragende Entwicklungsleistungen, und gerade die Details erfordern besonders viel Reifezeit.
- Reifezeit verbessert das Entwicklungsergebnis.
- Im Unterbewußtsein liegt eine enorme Gehirnkapazität, die das Bewußtsein weit in den Schatten stellt.
- Schlaf ist ein wichtiger Faktor für gehirngerechte Produktentwicklung.
- Einige Vorschläge für die Optimierung von Verhaltensweisen wurden skizziert.
- Ich glaube an den Erfolg von querschnittlicher Forschung zwischen Gehirnforschern, Konstruktionswissenschaftlern, Neurologen und Schlafforschern zur Optimierung von Verhaltensweisen bei der Produktentwicklung und Konstruktion.

Autorenangabe(n):

Senioringenieur
Knut Meyer
TU Dänemark
Institut für Produktentwicklung, DTU
DK-2800 Kgs. Lyngby